

Цель геокриологической съемки

Геокриологическая съемка представляет собой комплекс полевых, лабораторных и камеральных работ , имеющих целью:

- 1) изучение **закономерностей** формирования сезонно- и многолетнемерзлых горных пород и мерзлотных (криогенных) процессов в зависимости от природных условий, их исторических и техногенных изменений;
- 2) составление геокриологических **карт**;
- 3) выполнение геокриологического **прогноза**;
- 4) разработку **мероприятий по управлению** тепловым режимом горных пород и мерзлотными процессами;
- 5) составление **рекомендаций** по строительству и эксплуатации инженерных сооружений и охране природной среды.

Задачи геокриологической съемки – изучение:

- 1) особенностей **теплообмена** на поверхности Земли;
- 2) закономерностей формирования **температурного режима** мерзлых пород;
- 3) закономерностей **распространения и условий залегания** толщ мерзлых горных пород ;
- 4) особенностей формирования **таликов**;
- 5) **криогенного строения** (криогенной структуры и текстуры) мерзлых пород;
- 6) особенностей **состава и свойств** мерзлых, промерзающих и оттаивающих пород;
- 7) закономерностей распространения и развития **криогенных процессов** и явлений;
- 8) особенностей взаимодействия мерзлых пород **и подземных вод**;
- 9) **инженерно-геокриологических условий** территории и опыта строительства;
- 10) **истории** развития мерзлых толщ.

Этапы проведения геокриологической съемки. Ландшафтно-ключевой метод

Мерзлотная съемка реализуется с помощью ландшафтно-ключевого метода. Сущность этого метода заключается в том, что:

- На **первом этапе** проводится **ландшафтное** (геолого-географическое) **районирование** территории по условиям, определяющим формирование определенных типов сезонно- и многолетнемерзлых пород: геоморфологии и гидрологии, геологическому строению, почвам и растительности.
- На **втором этапе** на основе карты районирования выбираются **ключевые участки**, являющиеся представительными для микрорайонов, на которых в полевой период проводятся исследования и изучаются частные, общие и региональные закономерности. Идентичность и различия выделенных микрорайонов устанавливаются **маршрутными исследованиями**. Ключевые участки должны включать как типичные, широко распространенные микрорайоны, так и аномальные, локально распространенные, а также быть доступными и охватывать все типы ландшафтов .
- На **третьем этапе** составляются **геокриологические карты** путем распространения полученных геокриологических характеристик на идентичные типы местности.

Временные этапы проведения геокриологической съемки

Производство геокриологической съемки любого масштаба разделяется на **три последовательных временных этапа**: подготовительный, полевой и камеральный.

Основным задачами полевого периода являются изучение зависимостей геокриологических характеристик от составляющих природной среды, общих и региональных закономерностей формирования геокриологических условий. Изучение проводят на ключевых участках и дополняют маршрутные исследования при помощи космо-и аэрофотоматериалов, геокриологических, геологических, геоморфологических, геоботанических, микроклиматических, геофизических и других методов.

Что показывают на карте?

По установленным при съемке **взаимосвязям между характеристиками** природной среды и геокриологическим и характеристикам и на основе классификаций сезонно- и многолетнемерзлых пород составляют серии **геокриологических карт** в масштабе съемки.

На геокриологической карте может быть показана **одна** (например, **среднегодовые температуры пород**) или **несколько** (например, среднегодовые температуры пород, мощность мерзлой толщи, талики) геокриологических **характеристик**.

Маршрутные исследования при геокриологических исследованиях

Задачами маршрутных исследований являются:

- 1) Выделение геологических, геоморфологических, геоботанических границ;
- 2) Определение глубин сезонного оттаивания и промерзания;
- 3) Изучение криогенных явлений;
- 4) Изучение поверхностных вод, выходов подземных вод и наледей;
- 5) Исследование криогенного строения мерзлых пород в обнажениях и горных выработках;
- 6) Изучение территории для оценки опыта строительства и других видов освоения.

Основными задачами, решаемыми с помощью горно-буровых работ, являются:

- 1) изучение характеристик мерзлых толщ (состава, температур, мощности, характера залегания, криогенного строения и др.), отбор проб для лабораторных анализов;
- 2) проведение режимных термометрических и гидрогеологических наблюдений, геофизического каротажа.

Бурение скважин целесообразно вести с продувкой забоя воздухом, что обеспечивает меньшее нарушение температурного режима горных пород, сохранность керна мерзлых пород, определение мощности мерзлой толщи, глубины вскрытия водоносного горизонта.

По глубине геокриологические скважины делятся на две группы:

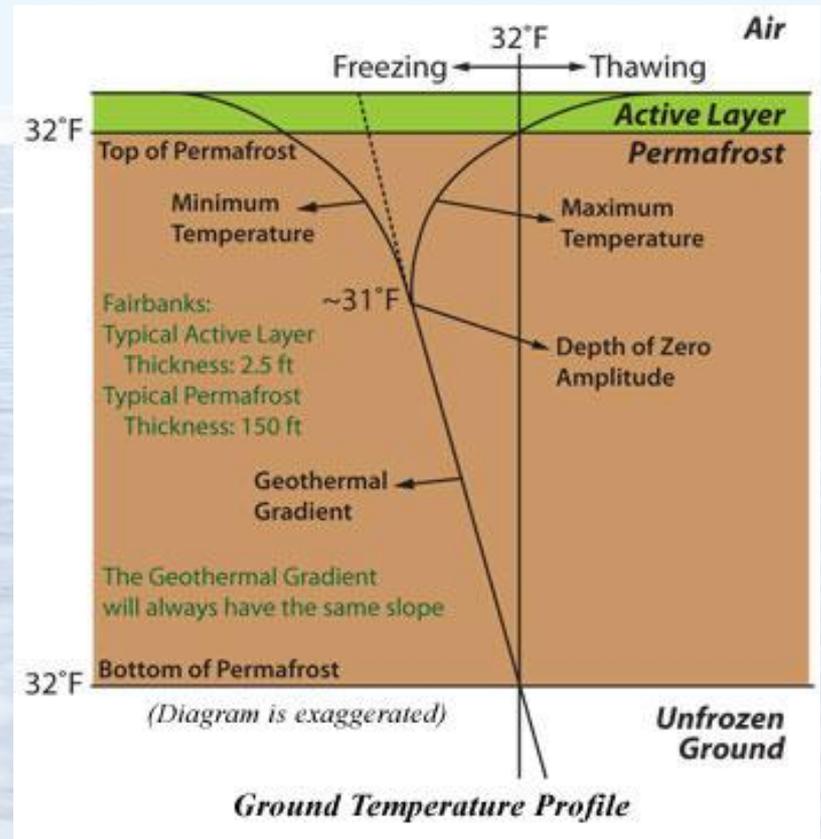
- 1) картировочные**, проходящие слой годовых колебаний температуры (10-25 м);
- 2) опорные геотермические** скважины, проходящие всю толщу мерзлых пород.

При съемке картировочные скважины располагаются в не менее чем **в трех точках** в пределах каждого типа ландшафта (микрорайона).

Опорные скважины располагаются с учетом **геологического строения** территории, определяющим изменения мощности мерзлых толщ. Опорные скважины используются также для изучения взаимодействия мерзлых толщ и подземных вод.

Методы определения мощности многолетнемерзлых пород

- 1) Горно-буровые работы;
- 2) Геофизические исследования;
- 3) Математическое моделирование



Классификация методов изучения мерзлых грунтов

- Методы изучения состава мерзлых грунтов
- Методы изучения строения мерзлых грунтов
- Методы изучения свойств мерзлых грунтов
- Методы изучения температурного режима, сезонного промерзания-оттаивания
- Методы изучения геокриологических (мерзлотно-геологических) процессов и явлений

Методы изучения состава мерзлых грунтов

- К составу (физическому) мерзлых грунтов относятся:
плотность, влажность, льдистость, содержание незамерзшей воды

Методы определения **плотности** мерзлого грунта:

- 1. Метод режущего кольца
- 2. Метод обмера образцов правильной формы
- 3. Метод взвешивания образцов в нейтральной жидкости
- 4. Метод лунки
- 5. Метод Ведерникова (вытеснение нейтральной жидкости)
- 6. Радиоизотопный
- 7. Расчетный

Полевые методы 1-2-4-7

Лабораторные методы 3-5-6-7

1. Метод режущего кольца



Установка алмазной пилы фирмы Makita и гидравлический пресс Torin для подготовки образцов мерзлого грунта

3. Метод взвешивания образцов в нейтральной жидкости

$$\rho = \frac{m_v \rho_{жс}}{m_v - m_{жс}}$$

m_v - масса образца в воздухе,

$m_{жс}$ - масса образца в воде,

$\rho_{жс}$ - плотность жидкости,

7. Расчетный метод определения плотности МГ (Пчелинцев, Вотяков)

$$\rho = 2,33(1 + W_c) / (\rho_s W_c + p_i)$$

Методы определения **влажности** мерзлого грунта:

Экспериментальные:

1. Точечный метод (для массивной криогенной текстуры и минеральных прослоек)
2. Метод бороздки (для слоистой и сетчатой КТ)
3. Метод средней пробы (для сильнольдистых грунтов)

Методы определения **льдистости** мерзлого грунта:

1. Метод Мазурова
2. Расчетный – измерение суммарной толщины включений на единицу разреза

Методы определения **содержание незамерзшей воды** мерзлого грунта

Калориметрический метод - основан на измерении теплового эффекта, возникающего при оттаивании мерзлого грунта

Контактный метод – основан на динамическом равновесии между льдом, нз и паром

Расчетный (СНИП 2.02.04-88) $W_{нз} = k_w * W_p$

Значения коэффициента k_w (СНИП 2.02.04-88)

Грунты	Число пластичности грунтов I_p , доли единицы	Коэффициент k_w при температуре грунта t , °С								
		-0,3	-0,5	-1	-2	-3	-4	-6	-8	-10
Пески и супеси	$I_p \leq 0,02$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Супеси	$0,02 < I_p \leq 0,07$	0,6	0,50	0,40	0,35	0,33	0,3	0,28	0,26	0,25
Суглинки	$0,07 < I_p \leq 0,13$	0,7	0,65	0,60	0,50	0,48	0,45	0,43	0,41	0,40
Суглинки	$0,13 < I_p \leq 0,17$	*	0,75	0,65	0,55	0,53	0,50	0,48	0,46	0,45
Глины	$I_p > 0,17$	*	0,95	0,90	0,65	0,63	0,60	0,58	0,56	0,55

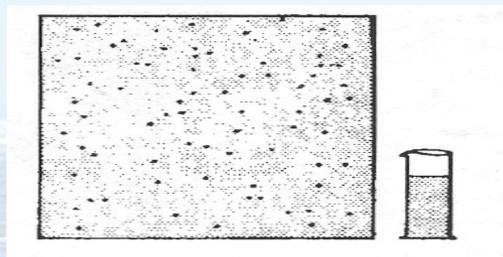
Примечание. В таблице знак «*» означает, что вся вода в порах грунта незамерзшая.

Методы изучения строения мерзлых грунтов

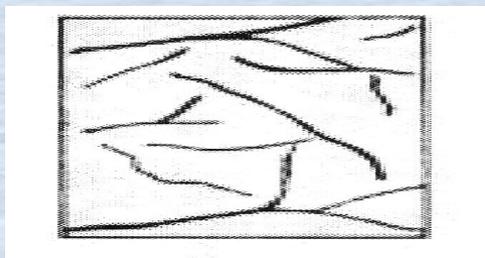
К строению мерзлых грунтов относятся:

криогенная структура и криогенная текстура

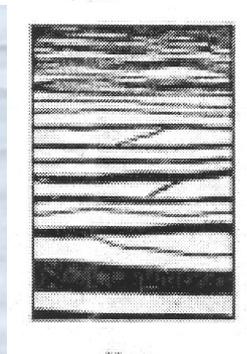
- **Массивная**



- **Сетчатая**



- **Слоистая**



Методы изучения свойств мерзлых грунтов

Свойства мерзлых грунтов

- Теплофизические свойства
- Геофизические свойства
- Механические свойства

Теплофизические свойства мерзлых грунтов

- Необходимы для описания процессов теплообмена, происходящих в мерзлых и оттаивающих грунтах

К основным теплофизическим характеристикам пород горных пород при кондуктивном теплообмене относят

коэффициент теплопроводности λ , (Вт/(м·К)),

$q = -\lambda \cdot \text{grad } t$

коэффициент температуропроводности a (м²/с),

удельную теплоемкость C (Дж/(кг·К))

объемную теплоемкость C_p (Дж/(м³·К)).

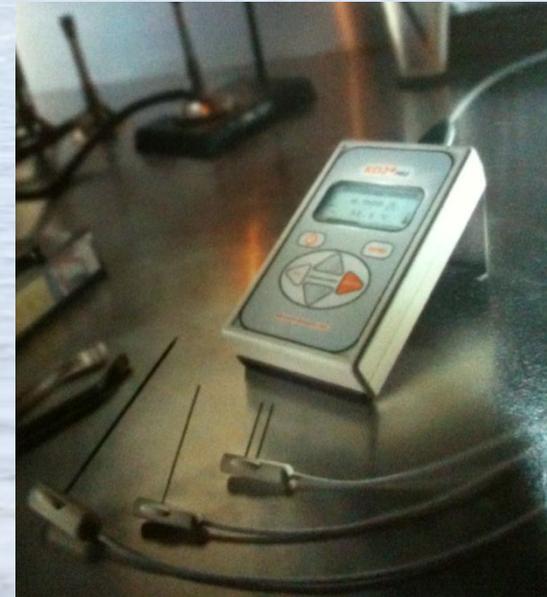
Они связаны соотношениями $\lambda = a \cdot C_p$ и $C_p = C \cdot \rho$,

где ρ - плотность грунта [кг/м³].

Определение температуропроводности

Метод цилиндрического щупа

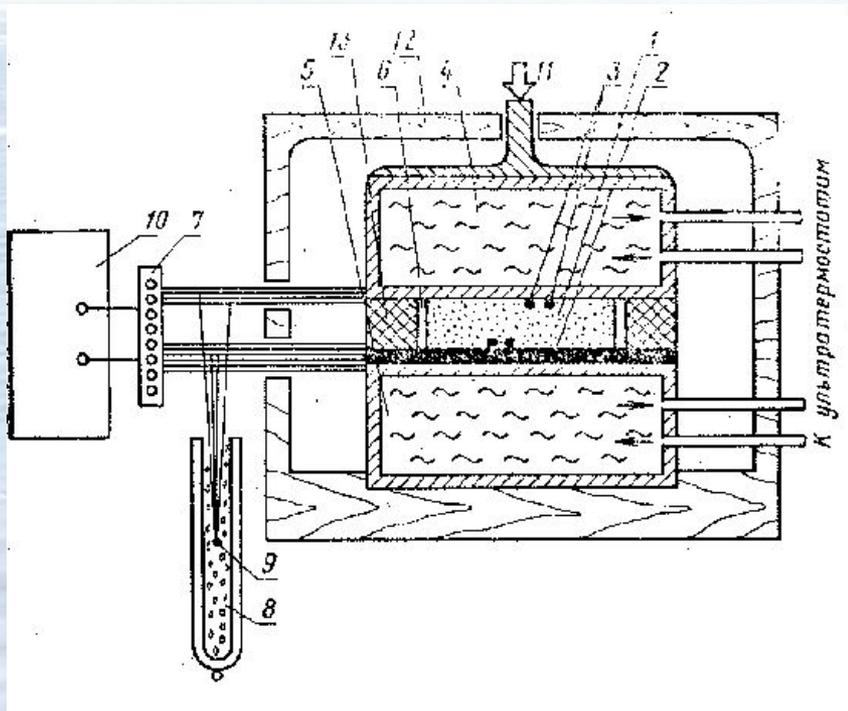
Метод основан на решении задачи о распространении тепла от бесконечного тонкого и длинного источника постоянной мощности, внедренного в однородную изотропную среду



Метод стационарного теплового режима

$$\lambda = q \cdot h \cdot (t_1 - t_2)$$

$$a = \frac{\lambda}{C\rho}$$



- 1 - образец грунта; 2 - тепломер; 3 - датчики температуры;
- 4 - верхняя термостатированная плита;
- 5 - нижняя термостатированная плита;
- 6 - обойма из органического стекла;
- 7 - переключатель; 8 - сосуд Дьюара;
- 9 - спай сравнения; 10 - потенциометр;
- 11 - прижимное устройство;
- 12 - теплоизоляционный кожух;
- 13 - поролон

Механические свойства мерзлых грунтов

- **Основные механические свойства мерзлых грунтов**
- Модуль деформации
- Эквивалентное сцепление
- Прочность на сжатие (условно-мгновенная и длительная)
- Коэффициент сжимаемости мерзлого грунта
- Прочность на разрыв
- Сопротивление сдвигу, сцепление, угол внутреннего трения
- Сопротивление срезу (с бетоном, сталью)
- Коэффициент оттаивания и сжимаемости при оттаивании
- Деформации пучения, определение касательных и нормальных сил пучения

Методы определения механических свойств мерзлых грунтов

Полевые методы

- Метод испытания горячим штампом
- Метод исследования несущей способности сваи
- Метод сферического шара
- Метод определения деформаций пучения

Лабораторные методы

- Метод одноосного сжатия
- Метод шарикового штампа
- Метод сопротивления срезу по поверхности смерзания
- Метод компрессионного сжатия

Метод испытания горячим штампом

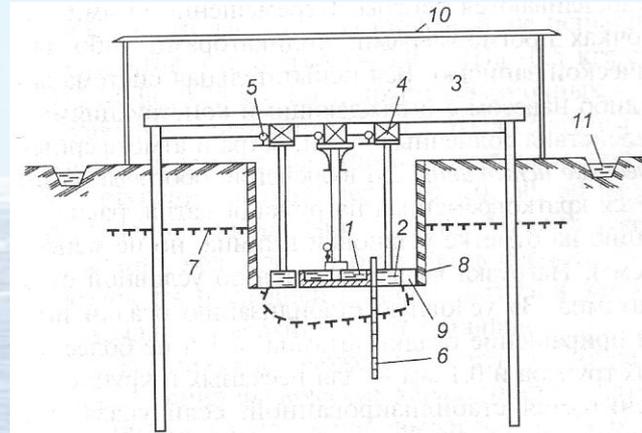
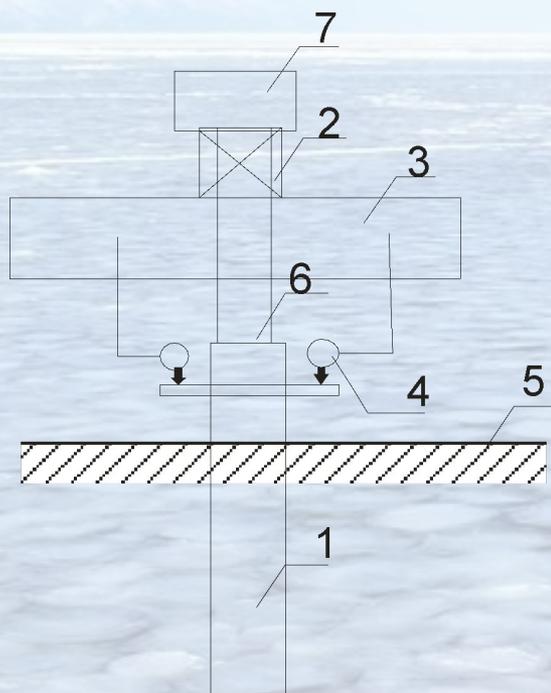


Схема установки для испытания мерзлых грунтов горячим штампом:
1- горячий штамп; 2 - обогреваемое кольцо; 3 – балка; 4 – домкраты; 5 – индикаторы;
6 - термометрическая скважина;
7 – граница сезонного оттаивания; 8 - крепление шурфа;
9 – насос для откачки воды;
10 – навес; 11 – водоотводная траншея.

Метод испытания несущей способности сваи

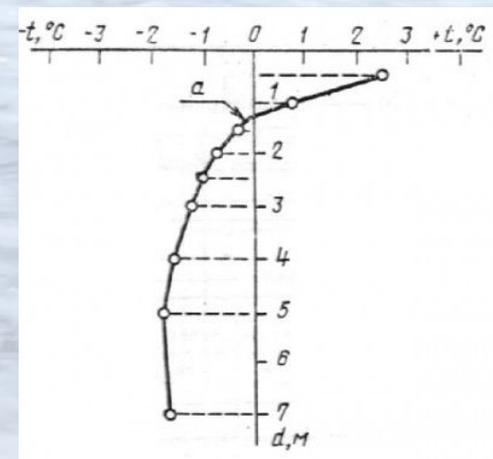
Схема установки для испытания свай статической выдергивающей нагрузкой.



- 1 – испытываемая свая;
- 2 – домкрат;
- 3 – загрузочная балка;
- 4 – индикаторы;
- 5 – поверхность грунта;
- 6 – конструкция для жесткого закрепления сваи с системой упоров;
- 7 – система упоров с анкерами.

Методы изучения температурного режима

- Метод термометрических скважин



Методы глубины сезонного промерзания-оттаивания

- Метод непосредственных наблюдений
- Температурных наблюдений
- Геофизические методы (микроВЭЗ) в сочетании с бурением
- Расчетный метод (СНиП 2.02.04-88)



Применение геофизических методов при геокриологической съемке

Геофизические методы используются для изучения температурных полей, состояния (мерзлое, талое), состава, строения, залегания различных генетических типов пород в разрезе и в плане.

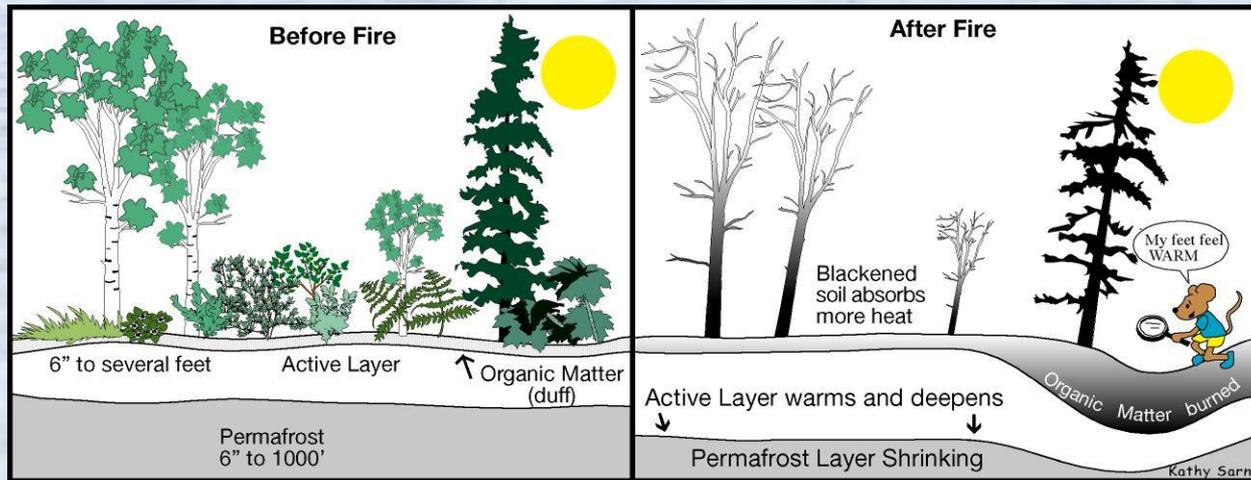
Проводится термометрический, электрический, акустический и ядерный каротаж **скважин**, **электропрофилирование** и вертикальное электрическое **зондирование**, методы переменного тока, инфракрасная и радиолокационная аэросъемки, и другие методы.

Методы прогноза изменения геокриологических условий при освоении криолитозоны

Под **геокриологическим прогнозом**, по В.А.Кудрявцеву, понимается научное предсказание развития геокриологических условий в будущем в связи с естественным ходом развития природы или в связи с хозяйственным использованием территории.

Различают два вида прогноза:

- 1) **эволюционный** (или естественно-исторический)
- 2) **техногенный**



Методы мелиорации мерзлых пород как оснований сооружений

Под мелиорацией (улучшением) понимается **изменение теплового режима, состава, строения и свойств** мерзлых грунтов в направлении, необходимом для решения практической задачи.

При этом используются тепловая, водно-тепловая, механическая, физико-химическая и химическая мелиорации.

Тепловая мелиорация заключается в искусственном изменении температуры грунтов с использованием различных источников тепла или охлаждающих устройств. Теплопередача в грунтах осуществляется кондуктивным способом.

При **водно-тепловой** мелиорации используется тепло, переносимое конвективным и кондуктивным путем при нагнетании и фильтрации воды.

Механические способы мелиорации включают замену грунта, его уплотнение, обезвоживание и другие.

Физико-химические и химические приемы мелиорации заключаются либо в использовании тепла при экзотермических или эндотермических химических реакциях, либо путем введения в грунт химических реагентов или использования электроосмоса.

Принципы строительства инженерных сооружений на многолетнемерзлых грунтах и способы обеспечения устойчивости оснований фундаментов

Первый принцип – сохранение многолетнемерзлых грунтов в основании в течение периода эксплуатации

Второй принцип основан на допущении оттаивания многолетнемерзлых грунтов основания



Независимо от принципа использования грунтов в качестве оснований (I или II принцип) при возведении сооружений расчет оснований и фундаментов производят **по двум предельным состояниям:**

- 1) по несущей способности (первая группа предельных состояний);
 - 2) по деформациям (вторая группа предельных состояний).
- Кроме того, проверяют фундаменты на устойчивость против морозного пучения.



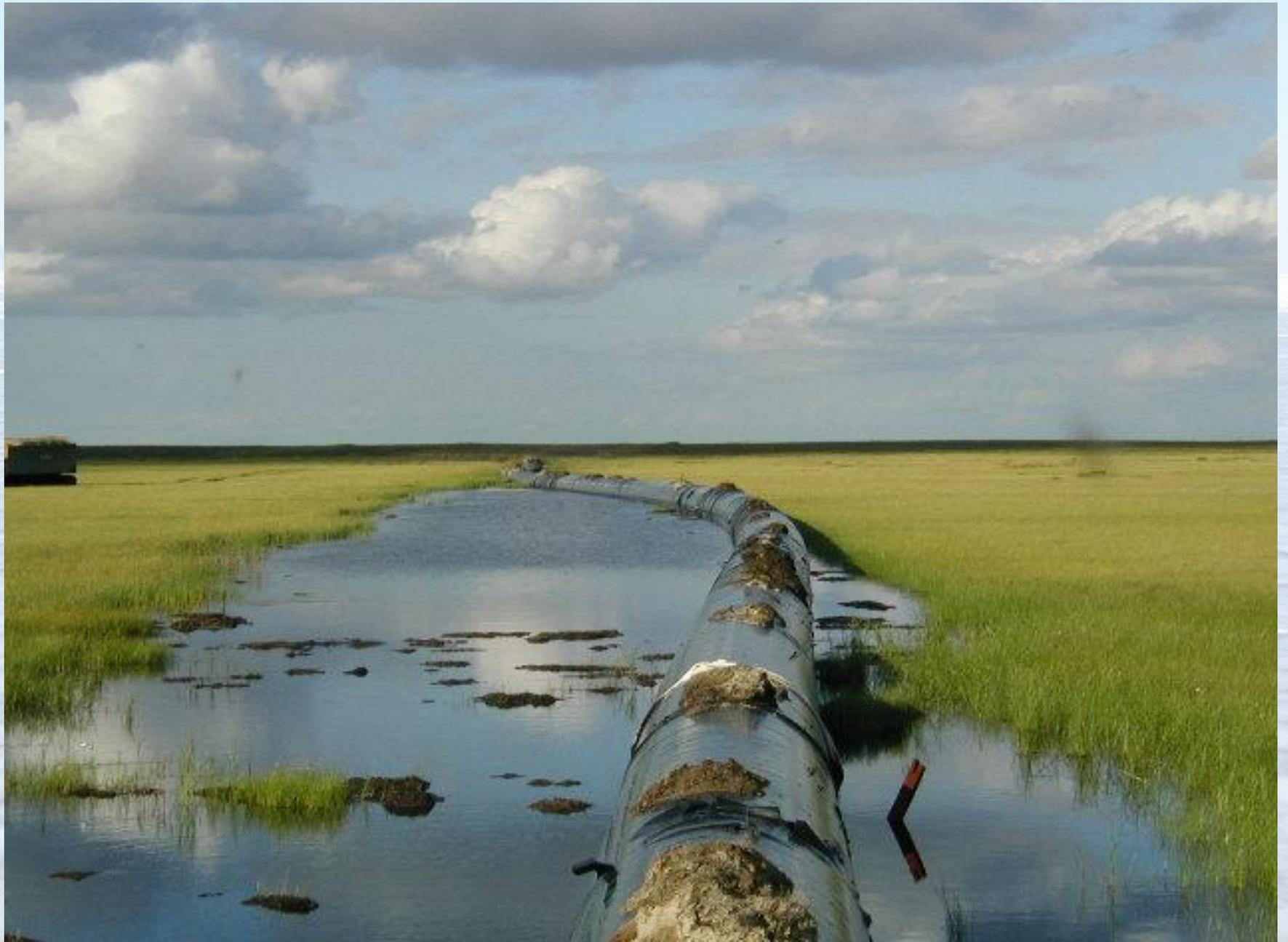
Строительство дорог

Проектирование **по I принципу** ведут на участках с **низкотемпературными** многолетнемерзлыми льдистыми грунтами, когда оттаивание может привести к недопустимым деформациям и разрушению дорожной одежды. Сохранение мерзлых грунтов в основании обеспечивается конструкцией дороги и мероприятиями по тепловой стабилизации.

Проектирование **по II принципу** - с частичным оттаиванием мерзлых пород - ведут для насыпи из глинистых и песчаных грунтов с влажностью менее предела текучести и с незначительными осадками при протаивании.

В криолитозоне железные и автомобильные дороги строятся в основном **на насыпях**.





Строительство трубопроводов

Конструктивные особенности и температурный режим трубопроводов зависят от характера перекачиваемого продукта. Так, **нефтепроводы** могут эксплуатироваться только **при положительной температуре**, причем минимальные температуры нефтепровода составляют плюс 5-10°C, так как при более низкой температуре нефть густеет и происходит выделение парафина. **Газопроводы** могут иметь как положительную, так и отрицательную температуру.

Трубопроводы разделяются на **подземные, наземные** (в насыпи или без обваловки) и **надземные**. Наибольшее **тепловое влияние** на мерзлые грунты оказывают подземные трубопроводы, залегающие ниже глубины сезонного оттаивания.

Общие положения по рациональному использованию мерзлых пород при освоении криолитозоны

Особенностью строительства и эксплуатации инженерных сооружений в многолетней криолитозоне является **необходимость учитывать теплообмен** грунтов с сооружениями и с внешней средой.

С изменением температурного и влажностного режимов пород при хозяйственном освоении территории, особенно с **переходом температур через 0°C**, связаны изменения состава, строения и свойств пород, развитие мерзлотных процессов.

Сохранение природных снежного и растительного покровов, гидрологического режима территории является важной задачей при освоении криолитозоны. Другой задачей является **управление** тепловым режимом для обеспечения мерзлого состояния горных пород.

Необходимо учитывать **глобальное изменение климата**.